

## 水冷式アルミヒートシンクのガルバニック腐食試験

### GALVANIC CORROSION TEST OF WATER COOLED ALUMINUM HEATSINK

三浦一喜<sup>#, A)</sup>, 石井恒次<sup>A)</sup>, 栗本佳典<sup>A)</sup>, 下川哲司<sup>A)</sup>, 佐川隆<sup>B)</sup>, 森田裕一<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> KEK

<sup>B)</sup> Universal Engineering

#### Abstract

In J-PARC Main Ring (MR), we plan to shorten the driving cycle from 2.5 sec to 1.3 sec for higher beam power. To achieve this, replacement of the power supplies of main magnets is mandatory. A water-cooled heatsink for cooling the IGBT is included as a component of the new power supply. For the purpose of the cost reduction, the aluminum heatsink is used instead of the conventional copper heatsink. A concern in the adoption of the aluminum heatsink is the possibility of the galvanic corrosion since the cooling water is shared with the existing equipments that use copper tubes for the flow channels. Therefore, we conducted a galvanic corrosion evaluation test using aluminum heatsink samples. In this report, we describe the results of expose the flow path and analyzing the condition of the flow path surface.

#### 1. はじめに

J-PARC では将来計画であるビーム大強度化のために、主リングの運転周期を 2.5 秒から 1.3 秒へと速める高繰り返し化を実現することが求められており、その計画の一部として主電磁石用新電源の開発が進められている[1]。この新電源の構成要素として、IGBT を冷却するための水冷式ヒートシンクが含まれる。この水冷式ヒートシンクは現行電源では銅製ヒートシンクが採用されてきたが、新電源においては製造時のコストカットを目的としてアルミ製ヒートシンクを採用している。アルミ製ヒートシンクの採用における懸念として、銅管を用いた既存機器を由来とする銅成分を含んだ冷却水が、アルミ製ヒートシンクに対してガルバニック腐食を引き起こす可能性が存在する。このガルバニック腐食とは、電解質溶液(水など)中で電位の異なる 2 つの金属間において、電位の低い金属(本件におけるアルミ)の腐食が助長される腐食現象のことであり、この腐食によって電源内部に冷却水が漏水し電源故障の原因となることも考えられるため、事前にガルバニック腐食のリスク評価が必要と判断した。そこで我々は実使用環境および高負荷環境の冷却水において、アルミ製ヒートシンクサンプルを用いてガルバニック腐食評価試験を実施した。本報告では、試験を実施したヒートシンクサンプルを切断して流路を露出させ、冷却水流路表面の状態を分析した結果を報告する。

#### 2. 試験目的

我々が開発を進めている新電源は、Fig. 1 に示す通り大型の電源装置である。このような大型装置においては内蔵する水冷式ヒートシンクも大型になり、その材質によるコスト差も無視できないものとなる。そこで、現行電源では銅製のヒートシンクが採用されてきたが、新電源においては製造時のコストカットを目的として、銅に近い熱伝導率を持ち、なおかつ安価であるアルミ製の水冷式ヒートシンクを採用することとした。

しかしながら、水冷式アルミヒートシンクの採用におい

ては懸念が存在する。それは実際の新電源使用環境の冷却水が、銅管を用いた既存機器を由来とする銅成分(電位の高い貴金属)を含んでいることを原因として、電位の低い卑金属であるアルミに対してガルバニック腐食が発生する可能性である。新電源では内蔵する水冷式アルミヒートシンクに対して絶縁材チューブで配管しているため、直接の異種金属接合部は存在しないものの、冷却水中に含まれる貴金属成分による影響がどの程度の物になるかは不明であった。そのため新電源の既存冷却水環境下へのインストールの前に水冷式アルミヒートシンクが実使用環境下で受ける影響を評価するためにテストスタンドを構築、腐食評価試験を実施した。



Figure 1: New power supply.

#### 3. 試験セットアップ

本試験を実施するにあたり構築したテストスタンドの概要図を Fig. 2 に、その写真を Fig. 3 に示す。このテストスタンドでは実際に新電源内部でヒートシンクが使用される状況を想定して、ヒートシンクに対して、 $\pm 3\text{kV}$  の電圧を印加し、ヒートシンクと接地継手間との絶縁距離で漏えい電流の値を調整した。また、熱負荷としてリボンヒータ( $200^{\circ}\text{C}$ )をヒートシンクに巻き付ける形で使用している。これらの試験条件を Table 1 にまとめた。

<sup>#</sup> kazuki.miura@kek.jp

同様のセットアップを実使用環境(純水:銅の溶存成分量=0.04mg/L)の冷却水および、加速試験として実使用環境よりも銅の含有量の多い冷却水(純水)を使用した高負荷環境の2箇所で行った。なお、本報告中における試験期間は、通水、電圧印加、熱負荷全ての条件が揃っている状態の期間のみをカウントしている。

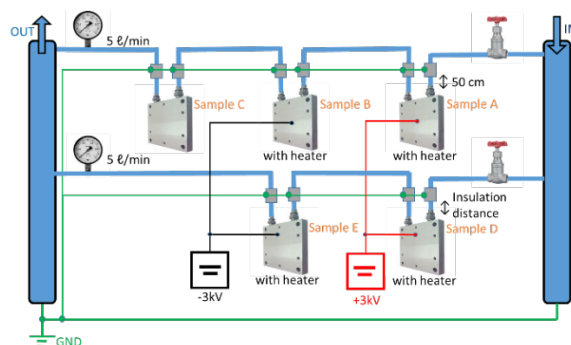


Figure 2: Configuration of test stand.

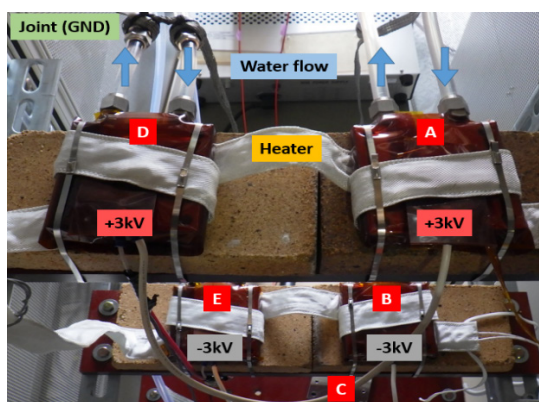


Figure 3: Test stand.

Table 1: Test Conditions

Sample	A	B	C	D	E
Flow rate	5L/min	5L/min	5L/min	5L/min	5L/min
Voltage	+3kV	-3kV	None	+3kV	-3kV
Leakage current	10uA	10uA	None	50~100uA	50~100uA
Heater	○	○	×	○	○

#### 4. 試験結果

実使用環境での試験を半年間行ったヒートシンクを Fig. 4 のように上部、底部の両側から半分ずつ切削してヒートシンク内流路を露出させた状態に加工し、デジタル顕微鏡(KEYENCE VHX-1000)を用いての流路表面観察を実施した。結果として実環境冷却水で半年間の試験期間では、アルミヒートシンク内流路に孔食は見られなかった。

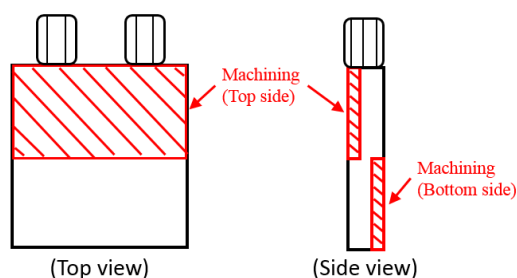


Figure 4: Machining sketch.

実使用環境半年間の結果を踏まえ、高負荷環境での試験については1年間の試験を実施したうえで先の試験同様に切削後の表面観察を実施したところ、高負荷環境試験ではヒートシンク内流路に変化が見られた。このヒートシンクサンプル5つの表面観察結果を Table 2 にまとめる。サンプル5つの結果を比較すると、サンプルC(電圧印加無し、加熱無し)を除いて、流路表面に孔食の疑いあり(粒子状黒変部)の結果となった。

Table 2: Risk of Pitting Corrosion

	Top side	Bottom side
A	Risk (Black point)	Risk (Black point)
B	Risk (Black point)	Risk (Black point)
C	None	None
D	Risk (Black point)	Risk (Black point)
E	Risk (Black point)	Risk (Black point)

表面観察結果の代表として試料Dの本体上側流路アーク部の写真を示す。それぞれ Fig. 5 が実使用環境半年間の試験結果、Fig. 6 が高負荷環境1年間の試験結果であるが、Fig. 5 に比べて Fig. 6 では粒子状の黒変部が散見される。この黒変部が孔食の疑いありの部分であるが、デジタル顕微鏡では孔食の有無の判定には至らなかった。この黒変部の詳細な分析には、SEM-EDX 分析が必要であり、現在その分析を進めている段階である。SEM-EDX 分析の結果により孔食の有無を判定できる見通しである。

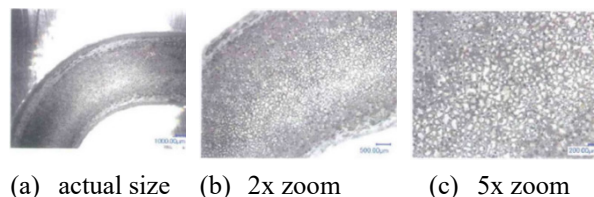


Figure 5: Half a year at actual environment.

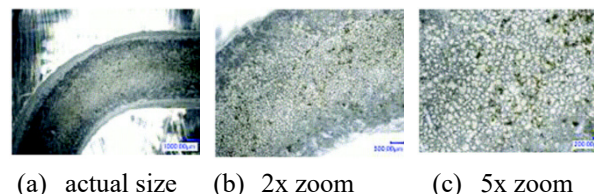


Figure 6: 1 year at high-load environment.

## 5. まとめと今後

J-PARC では将来計画であるビーム大強度化のために、主リングの運転周期を 2.5 秒から 1.3 秒へと速める高繰り返し化を実現することが求められており、その計画の一部として主電磁石用新電源の開発が進められている。この新電源ではコストカットを目的として水冷式アルミヒートシンクを採用しているが、ガルバニック腐食による漏水が電源故障の原因となることも考えられるため、事前にガルバニック腐食のリスク評価が必要と判断し、我々はテストスタンドを構築、実使用環境および高負荷環境の冷却水において、アルミ製ヒートシンクサンプルを用いてガルバニック腐食評価試験を実施した。

試験済ヒートシンクサンプルの流路内部をデジタルマイクロスコープで表面観察した結果、実使用環境で半年間試験した結果ではアルミヒートシンクへの影響は表れなかったものの、高負荷環境で 1 年間試験を実施したサンプルにおいては孔食の可能性ありと判定される粒子状黒変部が散見された。この結果を受け、高負荷環境で 1 年間試験したサンプルについては、SEM-EDX 分析を追加実施中であり、その結果により黒変部が孔食であるか否かを判定する予定である。

## 参考文献

- [1] Y. Morita *et al.*, “Development of J-PARC MR Main Magnets Power Supplies for High Repetition Rate Operation,” JPS Conf. Proc., vol. 8, Sep. 2015, ID. 012006.